

登録 2054/01

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許出願公告番号

特公平7-86647

(24) (44) 公告日 平成7年(1995)9月20日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 3 B 27/54		Z		
G 0 3 F 7/20				
H 0 1 L 21/027				
H 0 1 S 3/101				
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 0 4
				発明の数1(全 6 頁)

(21) 出願番号 特願昭61-306360  
(22) 出願日 昭和61年(1986)12月24日  
(65) 公開番号 特開昭63-159837  
(43) 公開日 昭和63年(1988)7月2日

(71) 出願人 999999999  
株式会社ニコン  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
(72) 発明者 市原 裕  
東京都品川区西大井1丁目6番3号 日本  
光学工業株式会社大井製作所内  
(74) 代理人 弁理士 佐藤 正年

審査官 日高 賢治

(56) 参考文献 特開 昭61-212816 (J P, A)  
特開 昭63-81420 (J P, A)  
特開 昭63-81882 (J P, A)  
特開 昭63-44726 (J P, A)

(54) 【発明の名称】 照明装置

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 パルスレーザを光源とし、これから出力された波長 $\lambda$ のレーザ光を振動ミラーによって振動させることによりスポット数Nの二次光源を形成し、このレーザ光を、間隔dの複数のレンズ素子に対して振れ角 $\theta$ 。

で入射させ、該複数のレンズ素子を介したレーザ光を照明対象に照射する照明装置において、前記複数のレンズ素子のうち、少なくとも空間的可干渉領域に含まれるレンズ素子の所定の配列方向の個数M、適当な整数mに対して、ほぼ

$$d = m (\lambda / \theta .)$$

$$N (\lambda / \theta .) > M d$$

を満足するように構成すると共に、

この条件を満たすパルス数のレーザ光の全光量が照明対象の必要光量となるように、前記パルスレーザの照明対

2

象に対する光量を調整する光量調整手段を備えたことを特徴とする照明装置。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

この発明は、レーザを光源とする照明装置にかかるものであり、特に、集積回路の製造に用いられる露光装置などに好適な照明装置に関するものである。

【従来の技術】

従来、集積回路の製造に使用されている露光装置の光源としては、主として超高圧水銀ランプが用いられてきた。

しかし最近では、集積回路の集積度が増々向上しており、従来以上の線幅精度が要求されるに至っている。このため、上述した超高圧水銀ランプに代って、エキシマレーザ等の短波長高出力レーザが露光光源として用い

られ始めている。

ところが、特にインジェクションロッキングを用いたレーザーなどの波長幅が狭いレーザーを用いると、干渉によりスペックルが発生し、微細パターン形成の妨げとなる。

従来、このようなスペックルの発生を防ぐため、第2図に示すような照明装置が使用されている。

第2図において、レーザー光源10から出力されたレーザー光LBは、レンズ12,14を各々透過して、偏向ミラーないし振動ミラー16に入射し、ここで曲折されてレンズ18を透過し、位置PAにスポットを形成する。

更にレーザー光LBは、コンデンサレンズ20によって集光されて、レチクルRに入射し、これを透過して、例えば両側テレセントリックな投影光学系22に入射する。

この投影光学系22は、前群投影レンズ22Aと、後群投影レンズ22Bとを有しており、これらを透過したレーザー光LBは、ウエハWに入射される。これによって、レチクルR上の回路パターンがウエハW上に露光投影されることとなる。

以上のような装置について、更に説明すると、レーザー光LBは、レンズ12,14によって、径が広げられたのち、振動ミラー16に入射するが、露光中この振動ミラー16を振ることによって、位置PAに広がった二次光源が形成される。

この二次光源の像は、さらにコンデンサレンズ20と、投影光学系22中の前群投影レンズ22Aとによって、投影光学系22中の瞳位置22Pに結像される。

以上のような二次光源の各集光点からの光は、インコヒーレントとみなすことができるので、ウエハW上にはスペックルは発生しない。

#### 〔発明が解決しようとする問題点〕

しかしながら、以上のような照明装置では、レチクルR及びウエハW上の光強度分布が均一とならず、ガウス分布ないしそれに近似する分布となる。

そこで、通常かかる光強度分布の均一性を確保するため、位置PAの二次光源とコンデンサレンズ20との間に、コリメータレンズとフライアイレンズ（図示せず）とを各々挿入し、このフライアイレンズによる光源像を投影光学系22の瞳位置22Pに結像することとしている。

ところが、この瞳位置22Pの光は、振動ミラー16を振動させても、一般的にはインコヒーレントとはならず、互いに干渉してウエハW上にスペックルが発生することとなる。

この発明は、以上のような問題点を解決し、光源がレーザー光であっても、均一で、かつ、スペックルを生じない照明装置を提供することを、その目的とするものである。

#### 〔問題点を解決するための手段〕

本発明は、パルスレーザーのレーザービームを振ることによって形成される二次光源の強度分布（ないし光源像の大きさ）、および、複数のレンズ素子の少なくとも空間的

可干渉領域に含まれるレンズ素子配列構成を、レーザー光の波長および照明対象に対する必要照明量を考慮して定めることにより、上記問題点を解決しようとするものである。

すなわち、この発明は、パルスレーザーの波長の $\lambda$ 、振動ミラーによって形成される二次光源のスポット数 $N \times N'$ （2次元配列として）、二次光源から複数のレンズ素子へ入射するレーザー光の振れ角 $\theta$ 、複数のレンズ素子の間隔 $d$ 、これらのレンズ素子のうち、少なくとも空間的

10

可干渉領域に含まれるレンズ素子の一次元方向の配列個数 $M$ 、適当な整数 $m$ に対して、

$$d = m (\lambda / \theta) \\ N (\lambda / \theta) > M d$$

となるように各部分を構成するとともに、これらの条件を満たすパルス数のレーザー光の全光量が照明対象の必要光量となるように、前記パルスレーザーの照明対象に対する光量を調整する光量調整手段を備えたことを技術的要点とするものである。

#### 〔作用〕

20

この発明によれば、少なくとも空間的可干渉領域に含まれるレンズ素子が、二次光源の強度分布のフーリエ変換が零となる位置に配列されるため、ファン・シッターツェルニケ（Van Cittert-Zernike）の定理によりそれらのレンズ素子を透過するレーザー光間で干渉が実際上生じない。

また、全体としての照明光量が、光量調整手段によって調整され、照明対象には、必要な量の照明光が送られる。

#### 〔実施例〕

30

以下、本発明の実施例を、添付図面を参照しながら詳細に説明する。なお、上述した従来技術と同様の部分には、同一の符号を用いることとする。

第1図には、この発明にかかる照明装置の一実施例が示されている。この図において、上述したレーザー光源10から出力されるパルスレーザー光LBは、減光フィルタ24、レンズ12,14を各々透過して、振動ミラー16に入射するようになっている。

次に、この振動ミラー16によって光軸が曲折されたレーザー光LBは、レンズ18を透過してコリメータレンズ26に入射するようになっている。これによって平行光束化されたレーザー光LBは、複数のレンズ素子を有するフライアイレンズ28に入射するようになっている。

40

更に、このフライアイレンズ28を透過したレーザー光LBは、上述したようにコンデンサレンズ20によって集光され、これによって、レチクルRの回路パターンの露光投影が、投影光学系22によってウエハWに行なわれるようになっている。

一般的には、以上のような光学系では、上述したようにスペックルを生じるが、レーザー光LBの露光パルス数および振動ミラー16の振れ角によって定められる二次光源Q

50

5

の強度分布と、フライアイレンズ28を構成するレンズ素子の配列構成との関係を適当に調整制御することにより、スペックルを低減するとともに、光量分布の均一化を図ることができる。

以下、この実施例における上記条件について、詳細に説明する。

一般に、ファン・シッターツェルニケ (Van Cittert-Zernike) の定理によれば、2点間における光の干渉性の程度を表わす複素コヒーレンス係数は、光源の強度分布のフーリエ変換で表される。

ところで、上記実施例では、位置PAに二次光源Qが形成される。

そこで、フライアイレンズ28から二次光源Qを見たときの該二次光源Qの強度分布と、そのフーリエ変換とを示すと、第3図および第4図のようになる。

第3図には、二次光源Qの強度分布が各々示されており、第4図には、それらのフーリエ変換が各々示されている。

なお、これらの図の例は、いずれも一次元モデルであるが、これらを二次元に拡張することは容易である。

第3図および第4図中、(A)は、二次光源Qの強度分布が一樣な分布を有する場合、(B)ないし(E)は、二次光源Qの強度分布が離散的に分布している場合で、例えばパルスレーザをレーザ光源として用いた場合には、このような分布となる。なお、第3図において、「 $\theta_0$ 」は、フライアイレンズ28に入射するレーザ光の入射角の変動角度 (以下、振れ角と称する) である。

尚、第3図(B)～(E)に示した矢印の夫々はパルスレーザの発生を意味し、振れ角 $\theta_0$ の範囲で最後に発生すべきパルスを省略する必要がある。

これらのうち、第4図(B)ないし(E)を参照すると明らかなように、N個の等間隔 ( $\theta_0/N$ ) な二次光源スポットに対し、フーリエ面 (すなわちフライアイレンズ面では、同じく等間隔 ( $\lambda/\theta_0$ ) でN-1個の零点がある。なお、「 $\lambda$ 」は、レーザ光LBの波長である。

かかる零点の位置では、上述したファン・シッターツェルニケの定理により、複素コヒーレンス係数は「0」となる。

従って、二次光源Qのスポット数Nに対し、同数個以

6

\* 下、すなわちN個以下の個数のレンズを、かかる間隔d ( $\lambda/\theta_0$ ) で配列するようにすれば、これらの各レンズを通過したレーザ光LBは、互いに干渉しなくなる。

なお、逆に、フライアイレンズ28を構成する各レンズ素子の間隔dが決まっているときは、これに応じた振れ角度 $\theta_0$ で入射レーザ光LBを振動させるようにすればよい。

まとめると、レーザ光LBの波長を $\lambda$ 、振動ミラー16によって振動するレーザ光のフライアイレンズ28上での振れ角度を $\theta_0$ 、フライアイレンズ28の構成レンズ素子の間隔を一次元方向にdとすると、

10  $d = \lambda / \theta_0$ 、

..... (1)

の関係が満たされたときに、スペックルの生じない均一な照明を行うことができる。

なお、第5図を参照しながら説明するように、上述した(1)式は、適宜の整数mに対して、

$d = m (\lambda / \theta_0)$  ..... (2)

に拡張して考えることができる。

第5図(A)には、二次光源Qのスポット数Nが4の場合の強度分布が示されており、同図(B)には、スポット数Nが12の場合が示されている。これらのフーリエ変換は、同図(C)および(D)に各々示されている。

これらの図から明らかなように、フーリエ面における零点位置の間隔は異なるものの、間隔dではいずれも零点となる。

ここで、同図(A)における振動ミラー16により振動するレーザ光のフライアイレンズ28上での振れ角を $\theta_0$ とし、同図(B)の振れ角を $\theta_{00}$ とすると、

$d = \lambda / \theta_{00} = 3 \lambda / \theta_0$

となる。従って、一般的には、適宜の整数mに対して

30 (2)式が成り立つ。

次に、以上のようなレーザ光LBが互いに干渉しない条件について、更に詳細に説明する。

上述した間隔dのフライアイレンズ28の各構成レンズの配列個数を所定の配列方向でMとすると、

$N (\lambda / \theta_0) > M \cdot d$  ..... (3)

を満たすようにしてやれば良い。

これらの(2)、(3)式を書きなおすと、

$\theta_0 = (m \cdot \lambda) / d$  ..... (4)

となり、また、

$$(\theta_0 / N) < \frac{\lambda}{M \cdot d} = \theta_0 / m \cdot M \dots \dots (5)$$

$N > m \cdot M$  ..... (6) となる。

\* 従って、フライアイレンズ28へ入射するレーザ光の振れ角の振幅 (最大値) は、

$$\frac{N-1}{N} \theta_0 = m \frac{N-1}{N} \frac{\lambda}{d} \dots \dots (7)$$

で表わされることとなる。

また、二次光源Qのスポット間隔に対応した振れ角は、

$$\theta_0 / N < \lambda / M \cdot d \dots \dots (8)$$

50 の関係となる。

次に、最終的な振動ミラー16の振角は、レンズ18とコリメータレンズ26との倍率によって補正する。

すなわち、レンズ18と、コリメータレンズ26の焦点距離が、各々 $f_a, f_b$ であるとする、振動ミラー16の振角が、フライアイレンズ28の入射光束の振れ角の $(f_b/f_a)/2$ 倍となるようにすればよい。

以上のように、レーザ光LBの波長 $\lambda$ に対し、二次光源のスポット数および分布幅、フライアイレンズ28のレンズ素子の配列個数および素子間隔を、各々決定することにより、良好にレーザ光LBのスペックルを基本的には除去することができる。

しかしながら、実際の露光作業では、露光パルス数、すなわち二次光源Qのスポット数 $N$ を任意に選ぶことはできない。というのは、露光パルス数 $E$ は、ウエハ $W$ 上に形成されたレジスト層の感光の程度との兼ねいで定められ、最適露光量によって決定されるからである。

今、最適露光量を $I_0$ 、レーザ光LBの1パルス当りの露光量を $I_p$ とすると、露光パルス数 $E$ は $I_0/I_p$ となる。

これが、上述した二次光源Qのスポット数 $N$ の整数倍と一致しなければならない。すなわち、かかる整数を $n$ とすると、

$$E = nN = I_0/I_p \quad \text{..... (9)}$$

となることが必要である。

一方、露光装置用のフライアイレンズ28は、二次元状の平面パターンの投影露光を行うため、通常直交方向に、全体で $M_x \times M_y$ 個のレンズ素子が等間隔に並べられている。すなわち、直交する $X$ 方向に $M_x$ 個、 $Y$ 方向に $M_y$ 個のレンズ素子が各々配列されており、通常は $M_x = M_y$ である。

このような場合の露光パルス数 $E$ は、上述した(6)式の条件から、 $M_x \times M_y$ より大きくなければならない。

すなわち、

$$I_0/I_p > M_x M_y \quad \text{..... (10)}$$

の条件を満たす必要がある。

例えば、 $M_x = M_y = 10$ の場合、露光パルス数は、100以上でなければならない。

従って、この条件を満たすため、まず、レーザ光LB1パルス当りの露光量 $I_p$ があらかじめ測定される。そして、その条件を満たさない場合には、減光フィルタ24の挿入あるいはレーザ光源10の電源(図示せず)の調整により、1パルス当りの露光量 $I_p$ を低減して上記条件を満たすようにする。

更に、フライアイレンズ28の配列方向に対応した二次光源スポット数を $S_x \times S_y$ とすると、 $I_0/I_p$ は $S_x \times S_y$ の整数倍であって、かつ、 $m_x, m_y$ を整数として、

$$S_x > m_x M_x \quad \text{..... (11)}$$

$$S_y > m_y M_y \quad \text{..... (12)}$$

でなければならない。

通常 $M_x = M_y$ であるから $(I_0/I_p)^{1/2}$ に最も近く、かつ、 $M_x$ より大きい値を、二次光源Qのスポット数 $S_x$ とする。

また、

$$S_x (S_x - 1) < I_0/I_p \leq S_x S_y \quad \text{..... (13)}$$

を満たす $S_y$ を求める。

さらに、

$$I_0/I_p \leq S_x S_y \quad \text{..... (14)}$$

であるので、

$$I_0/I_p = S_x S_y \quad \text{..... (15)}$$

となるように前記と同様な手段で $I_p$ を減らす。

これらの計算の基礎となる $I_p$ (及び $I_0$ )は、これらの露光以前の1回以上の露光時に $I_p$ をモニターし、その値から算出したものを用いる。

以上のようにして、各構成部分の条件が定められる。

次に、上記実施例の作用について説明する。レーザ光源10から出力されるレーザ光LBは、上述したように、最適露光量 $I_0$ が考慮されて、1パルス当りの露光量 $I_p$ が設定され、減光フィルタ24によって光量調節が行われる。

次に、かかるレーザ光LBは、レンズ12, 14によって、そのビーム径が拡大され、振動ミラー16に入射する。この振動ミラー16の振動より、上述した(1)ないし(3)式に示す条件を満たすように定められた振れ角 $\theta$ でレーザ光LBが振られることとなる。

このレーザ光LBは、コリメータレンズ26、フライアイレンズ28を透過するため、レチクル $R$ 上では、レーザ光が均一に光量分布することとなる。

また、二次光源Qのスポット数とその分布幅、フライアイレンズ28のレンズ素子配列個数とその間隔とが、上述したように設定されているので、フライアイレンズ28を構成する各レンズ素子を各々透過したレーザ光LBが干渉してスペックルが発生するという不都合も生じない。

なお、本発明は何ら上記実施例に限定されるものではなく、例えば、フライアイレンズのレンズ素子の二次元配列個数は直交する方向で一致する必要はなく、異っていてもよい。

また、実際には、レーザ光源(例えばエキシマレーザ)の可干渉性(空間的コヒーレンス度)は、上述した数式が適用されるほど良好ではない。すなわち、フライアイレンズ全体を透過する光が干渉するのではなく、あるレンズ素子を透過したレーザ光と干渉するのは、そのレンズ素子近傍の数個のレンズ素子を透過したレーザ光のみである。

従って、上述した実施例においてフライアイレンズを構成するすべてのレンズ素子個数を示す $M_x \times M_y$ のかわりに、フライアイレンズ面での空間的な可干渉領域に含まれるレンズ素子の個数を用いるようにしても、実用的には、十分な効果を得ることができる。

具体的には、空間的な可干渉距離を $l$ とすると、フライアイレンズの構成レンズ素子の間隔 $d$ に対して、 $l/d$ よりも大きい数のうち、最も小さい整数を上記 $M_x \times M_y$ のかわりに適用すればよい。

更に、上記実施例は、露光装置に適用した場合である

が、その他の装置に対しても本発明は適用されるものである。

#### 【発明の効果】

以上のように本発明によれば、光源であるパルスレーザーの波長に対し、照明対象の必要照明量を考慮しつつ、レーザー光の振動によって形成される二次光源の強度分布、フライアイレンズを構成するレンズ素子の配置構成、特に少なくとも空間的可干渉領域に含まれるレンズ素子の配置構成を定めることとしたので、照明の均一性を確保しつつ良好にスペckルの低減を図ることができるという効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

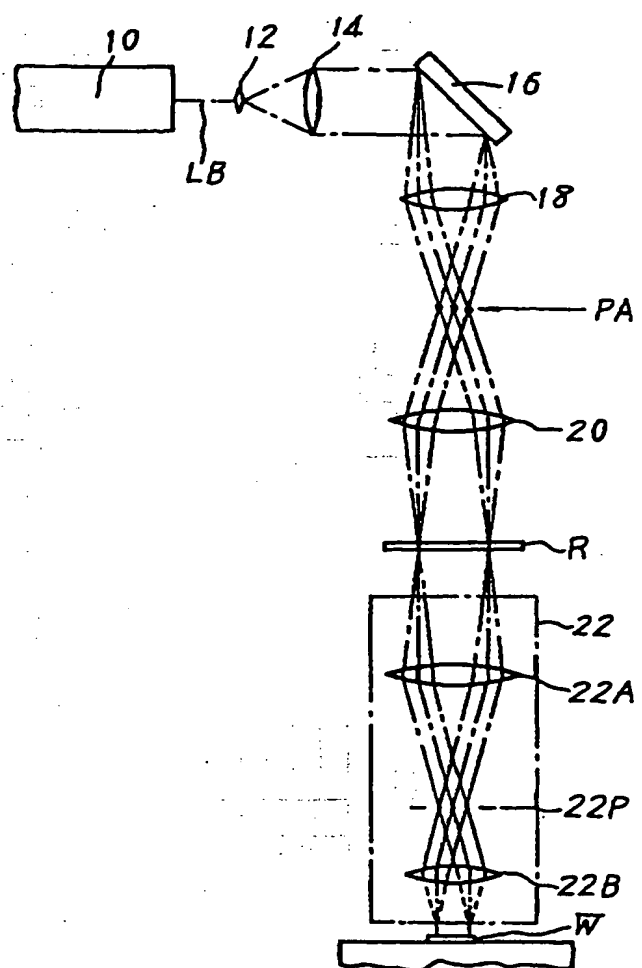
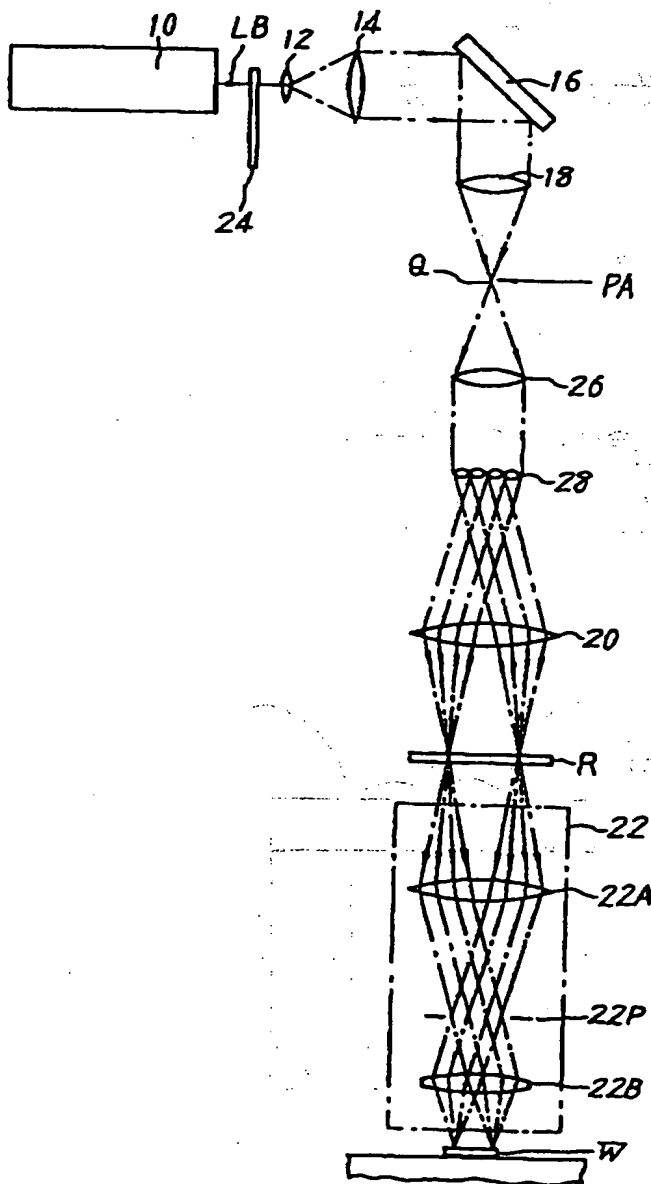
第1図は本発明の一実施例を示す構成説明図、第2図は従来装置の一例を示す構成説明図、第3図二次光源の強度分布を示す線図、第4図は第3図の強度分布に対応するフーリエ変換の関係を示す線図、第5図は(2)式を説明するための線図である。

#### 【主要部分の符号の説明】

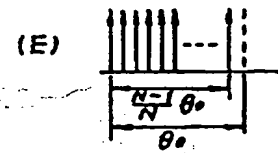
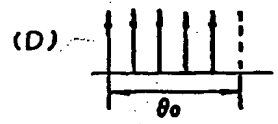
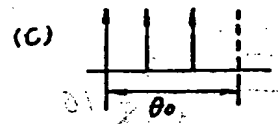
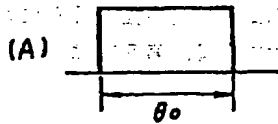
10……レーザー光源、16……振動ミラー、20……コンデンサレンズ、22……投影光学系、24……減光フィルタ、26……コリメータレンズ、28……フライアイレンズ、Q……二次光源、R……レチクル、W……ウエハ。

【第1図】

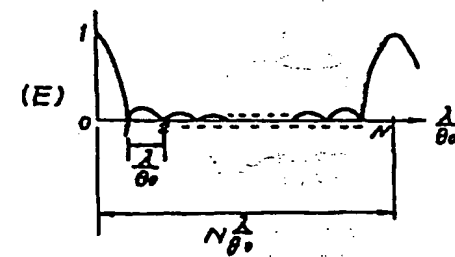
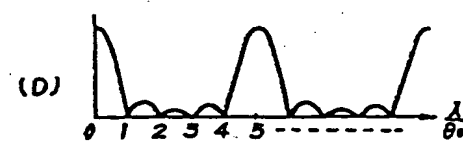
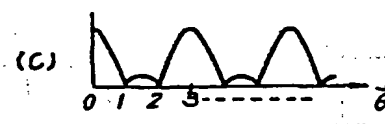
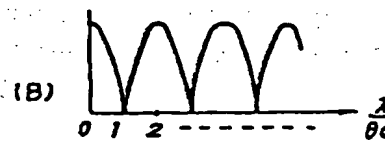
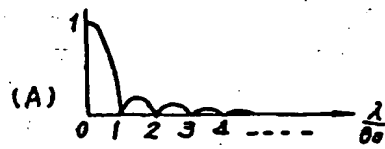
【第2図】



【第3图】



【第4图】



【第5图】

